

EESTI MAAÜLIKOOL  
Metsandus- ja maaehitusinstituut



Mihkel Mets

**HARVENDUSRAIETE NORMATIIVI ANALÜÜS**  
**ANALYSIS OF MINIMUM BASAL AREA**  
**REQUIREMENT ON THINNINGS**

Magistritöö

Metsatööstuse õppekava

Juhendajad dotsent Ahto Kangur, *PhD*,

professor Henn Korjus, *PhD*

Tartu 2017

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Magistritöö lühikokkuvõte	
Autor: Mihkel Mets		Õppekava: Metsatööstus	
Pealkiri: Harvendusraiete normatiivi analüüs			
Lehekülgi: 47	Jooniseid: 7	Tabeleid: 9	Lisasid: 0
Osakond:		Metsakorraldus	
Uurimisvaldkond:		Metsakorraldus	
Juhendaja(d):		Dotsent Ahto Kangur, Professor Henn	
Kaitsmiskoht ja aasta:		Korjus Tartu 2017	
<p>Töö eesmärgiks on uurida, kas praegused raienormatiivid on liiga piiravad ja mis juhtub puistuga kui raiuda üle lubatud seaduse kehtestatud piirnormi.</p> <p>Töö tegemiseks kasutati erinevaid puistu kasvusimulaatori MOTTI simulatsioone ning taas mõõdeti kolme puistut, kus raiuti kümme ja rohkem aastaid tagasi harvendusraiete käigus üle lubatud normide. MOTTI simulatsioonide käigus uuriti, mis juhtub puistu arenguga kui raiuda 10% ja 20% üle piirnormi. Omavahel võrreldi simuleeritud ja päriselus kogutuid metsanduslike andmeid.</p> <p>Andmete töötlusel ja puistute visuaalsel inspeksioonil selgus, et üle piirnormide raiumine ei muuda puistu seisundit piisavalt, et praegused normatiive täielikult õigustada.</p>			
Märksõnad: Harvendusraie, MOTTI, modelleerimine, rinnaspindala.			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Master's	
Author: Mihkel Mets		Specialty: Forest industry	
Title: Analysis of minimum basal area requirement on thinnings			
Pages: 47	Figures: 7	Tables: 9	Appendixes: 0
Department:		Forest management	
Field of research:		Forest management	
Supervisors:		Associate professor Ahto Kangur, professor Henn Korjus	
Place and date:		Tartu 2017	
<p>The purpose of this thesis is to investigate if the current minimum basal area requirement on thinnings is too limited and also to see what happens to the forest if it is cut over the minimum basal area</p> <p>To achieve mentioned goals forest growth simulator MOTTI was used to create different thinning scenarios. Also three different forests that were cut over the minimal basal area 10 or more years ago were re-measured. We were interested what happens to forest production and health if thinnings go 10% and 20% over minimum basal area. We compared MOTTI results with real life forest thinning data.</p> <p>During the data processing and according to the visual inspections it was found out that thinning over the minimal basal area did not change the forest condition enough to say that current basal area requirements are well justified.</p>			
Keywords: Thinning, MOTTI, modelling, mean basal area.			

# SISUKORD

Kasutatud lühendid .....	5
Sissejuhatus .....	6
1. Kirjanduse ülevaade .....	8
1.1 Ajalugu .....	8
1.2 Harvendusraiete normatiivid .....	9
1.3 Metsanduslikud mudelid .....	10
1.3.1 Erinevad metsanduslikud mudelid ja simulaatorid.....	12
1.4 Harvendusraied.....	19
2. Materjal ja metoodika.....	23
2.1 Kasutatavate materjalide kirjeldus.....	23
2.2 Puistute kirjeldus .....	24
2.3 MOTTI kasvusimulaator .....	26
2.4 Mõõtmisel kasutatav metoodika.....	29
3. Tulemused .....	31
3.1 Arvutisimulatsioonide tulemused .....	31
3.2 Tegelike juhtumite arvutisimulatsioonid .....	33
3.3 Juhtumite uuringud .....	33
3.3.1 Juhtum 1 .....	34
3.3.2 Juhtum 2 .....	35
3.3.3 Juhtum 3 .....	37
4. Arutelu .....	40
Kokkuvõte .....	42
Analysis of minimum basal area requirement on thinnings .....	43
Kasutatud kirjandus .....	44

## KASUTATUD LÜHENDID

A – Puistu vanus, a

Pe – Puistu peapuuliik

Rin – Puistu rinne

H – Puistu kõrgus, m

D – Puistu diameeter rinnaskõrguselt, cm

M – Puistu tagavara,  $\text{m}^3/\text{ha}$

G – Puistu rinna pindala,  $\text{m}^2/\text{ha}$

N – Puistu järelkasvu arv, tk/ha

NPV – Puistu majandamise nüüdispuhasväärtus 3 % intressi määra korral, Eur

J – Puistu järelkasv

## SISSEJUHATUS

Harvendusraietega parandatakse alles jäävate puude kasvutingimusi puistus puudevahelise konkurentsi reguleerimise teel. Harvendusraiete abil on võimalik kasvatada lühema ajaga suurema diameetriga ning väärtuslikumaid puid. Harvendusraietega saab parandada puistu tervislikku seisundit ning samuti vähendada puude suremust, mis toimuks puistu iseharvenemise protsessi käigus. Tavalises konkurentsis puistust väljalangevate puude puitu on võimalik kasutada majandusliku tulu teenimiseks (Silviculture... 2009). Oluline on leida tasakaal iga puistu majandamisel, selleks tuleks püstitada eesmärgid tuleviku suhtes ning defineerida milline saab olema puistu kasutuse eesmärk. Harvendusraiete läbiviimiseks on palju erinevaid mooduseid, mis tulenevad konkreetse puistu seisundist, asukohast ja riigis kehtivatest seadustest.

Eestis on viimase saja aasta jooksul toimunud palju muudatusi metsanduslikus seadusandluses. Ilmselt on kõige suurema mõjuga olnud Nõukogude Liidus kehtinud metsakoodeksi põhimõtted, mille mõjutusi on veel tunda tänapäeval. Eesti NSV metsakoodeks hakkas kehtima 1979 aastast ja sellega reguleeriti metsade majandamist kuni 1993 aastani (Etverk 2005). Puiduvarumise alla kuulusid Metsakoodeksis vahekasutusraied. Mainitud raiete alamliikide juurde defineeriti veel hooldus- ja sanitaarraied (ENSV Metsakoodeks 1979). Hooldusraiete tegemine oli normatiividega reguleeritud. Harvendusraietel määrati diameetri ja sellele vastava rinnaspindala järgi alampiir, millest allapoole ei tohtinud raiuda (Sein 1987). Põhimõtteliselt on Eesti Vabariigis praegu kasutusel sama süsteem, kuid puistu diameetri asemel võrreldakse rinnaspindala nüüd puistu kõrgusega (Metsa majandamise eeskiri 2009). Normatiivsed näitajad olid vajalikud, et lahti seletada erinevaid raieliike, sest muidu oleks võimalik näiteks ühte raieliiki tõlgendada teisena, näiteks saaks sanitaarraieid käsitleda harvendus- või lageraietena. Küsimus tekib selles, kui karmid peaksid lubatud piirmäärad ning tegevused olema? Liiga piiravate nõudmistega võib seadus hakata metsade majandamist takistama ning minna konflikti metsaomaniku ettekujutusega oma metsade majandamise eesmärkidest.

Seadus peaks metsa reguleerivaid põhimõtteid edasi andma piisavalt lihtsalt, et kõigil oleks regulatsioonist võimalik ühtemoodi aru saada. Metsaseadusest peaksid aru saama ka inimesed, kes pole metsandusliku haridusega. Praeguse metsaseaduse (2016) järgi võib harvendusraieid teha puistutes, mille keskmine rinnasdiameeter on kaheksa sentimeetrit või sellest suurem. Eestis läbi viidud harvendusraiate raiejärgne seisund peab olema kooskõlas Metsa majandamise eeskirja lisas 1 (2014) väljatoodud normatiividega. Antud lisas on antud puistu kõrgusele vastav minimaalne lubatav puistu rinnaspindala peale harvendusraiet. Raiudes rohkem kui on lubatud eeskirjas, tekitatakse keskkonnakahju, mis viib trahvini, mille täpsemad määrad on leitavad Metsaseaduse (2016) lisas 3. Seaduses arvestatakse rinnaspindala raie-eelse peapuuliigi järgi (Metsaseadus 2016). See tähendab, et metsaomanik ei saa harvendusraie tulemusena muuta puistus peapuuliiki ja lähtuda sellest harvendusraie tegemisel ning harvendusraie järgse puistu tiheduse määramisel. Praeguses olukorras on normatiividega täpselt reguleeritud, millistes piirides võib harvendusraiet teha. Seadus ei arvestada harvendusraiate puhul puistu iseärasustega ega erinevate kasvukohatüüpidega. Samuti on metsaomanike võimalused vägagi piiratud regulatsioonidega, mida ta võib enda metsas teha harvendusraiate käigus. Otsused, mida metsaomanik võib-olla tahab teha, ei ole eelduslikult ilmtingimata „halvad“ metsakorralduse vaatepunktist. Me ei saa väita, et raiudes puistu rinnaspindala näiteks 10% allapoole lubatud piirmäära, siis puistu produktiivsus koheselt väheneb või et sellega tekitatakse looduskeskkonnale otsest kahju.

Magistritöö eesmärkideks on uurida, kas raiudes harvendusraietega rohkem kui on lubatud normatiividega, tekitatakse puistule pöördumatut kahju ning kas praegused normatiivid on sellisel kujul üldse õigustatud. Magistritöö teema sai valitud selletõttu, et harvendusraie normatiividest on Eestis vähe uurimistöid tehtud. Teema on kindlasti aktuaalne, sest raietehnoloogia ja inimeste arusaamad metsade majandamise kohta on ajas muutuvad ning metsa majandamise võimalused võiksid tegelikult olla metsaomaniku jaoks paindlikumad.

# 1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

## 1.1 Ajalugu

Eesti Vabariigi esimene metsaseadus kehtestati 1934 aastal. Kui Eesti okupeeriti uuesti Nõukogude Liidu poolt 1944 aastal, siis sai metsanduse põhidokumendiks 1918 aastal vastu võetud metsadekreet, millele lisandus 1923 Vene SNFV metsakoodeks. Mõlemad dokumendid jäid koos kehtima. Nõukogude Liidu metsandusseadustikus oli suur segadus, mis viis NSV Liidu ja liiduvabariikide metsaseadusandluse aluste vastuvõtmiseni 1977 aastal. Iga liiduvabariik pidi enda metsanduslikud seadused eelnevalt mainitud alustega kokku viima, mis tähendas põhimõtteliselt NSVL seaduse kopeerimist (Etverk 2005). Sama toimus ka Eestis, mis muidugi ei tähendanud seda, et ümber kopeeritud seadus oleks Eesti aladele mõeldud ja sobiv, näiteks jäi sellesse seadusesse sisse mägimetsade majandamine (Etverk 2005).

Eesti NSV metsakoodeks võeti kasutusele 1979 aastal. Paljud koodeksis mainitud põhimõtted viidi üle ka taasiseseisvunud Eesti metsaseadusesse (1993). Eestis tehtavaid raieid reguleerisid 1980ndate lõpus mitmed juhendid. Hooldusraiate põhimõtted olid kirjas Eesti NSV metsade hooldusraiate eeskirjas (Etverk 2005). Hooldusraied reguleeriti normatiividega. Ajutised harvendusraiate normatiivid kinnitati 1976 aastal (Tappo 1980). Harvendusraietel määrati minimaalne täius ning harvendamisaste puude arvust ja tagavarast, mis võis olla pärast harvendusraiet (Eesti NSV metsade hooldusraiate normatiivid 1973). Edasiselt täiendati normatiive pärast harvendusraiet lubatava minimaalse rinnaspindalaga ja see oli takseertunnustest seostatud puistu diameetriga (Tappo 1980).

1993 aastal kehtestati uus metsaseadus, mis kasutas vanu hooldusraiate normatiive. Mainitud normatiivid kinnitati 1995 aastal (Hooldusraiate eeskiri 1995). 1998 aasta metsaseadus võttis kasutusel harvendusraiate reguleerimiseks uuendatud normatiivsed näitajad, kus rinnaspindala sõltus nüüd vanusest ja puistud olid jaotatud boniteedi järgi (Metsaseadus 1998). 2006 aasta metsaseaduses on harvendusraiate normatiivid seotud kõrguse ja rinnaspindalaga ning need kehtivad tänaseni (Metsaseadus 2016). Normatiivsetel näitajatel



on olnud pikk ajalooline areng ning nende kasutus ja sisu muutus mõningal määral. 1995 aastal kinnitatud normatiivide kasutusele võtt tundus loogiline, sest taasiseseisvumine tähendas kiireid ja suuri muutuseid ning üldist segadust seadusandluses. Tuli alustada vanade kehtivate metsandusealasete seaduste ja määruste muutmisega ning nende uuele riigile sobivamaks tegemisega.

## **1.2 Harvendusraiete normatiivid**

1976. aastal kinnitati ajutised hooldusraiete normatiivid, mille järgi oli puistute hooldamise lõpp kõrgema boniteediga männikutes 80 aastat ja madalama boniteediga männikutes 60 aastat. Hooldati põhiliselt 0,9-1,0 täiusega puhtpuistuid ning 0,8-1,0 täiusega segapuistuid. Harvendusraieid tehti IA-IV boniteediga puistutes. Harvendusaste oli puhtpuistutes 20-25% ja segapuistutes 20-30%. 1980ndate normatiivide puhul oli näidatud minimaalne, keskmine, maksimaalne puude arv, rinnaspindala enne ja pärast raie. Samuti madalaim, keskmine, kõrgeim harvendusaste ning täius pärast raie. Keskmine näitaja iseloomustas kõige soovituslikumat harvenduse viisi. Eelnevalt nimetatud näitajad olid seotud puistu rinnasdiameetriga (Tappo 1980).

Hooldusraiete teoreetiliseks kavandamise aluseks on seos puistu takseertunnuste vahel. Tihtipeale on seos tunnetusliku iseloomuga ning puudub selge matemaatiline alus. Hooldusraiete arvutuslikku kavandamist kasutatakse raiutavate mahtude kontrollimiseks ning metsamajandamise kavade koostamisel. Soomes ja Rootsis on hooldusraiete kavandamisel kasutusel seos puistu ülakõrguse ja rinnaspindala vahel. Seda kirjeldatakse boniteediklasside kaupa (Korjus ja Padari 1994).

Metsateaduses ja praktikas võib öelda, et puu rinnasdiameeter ning võra läbimõõt on tihedas lineaarses seoses. Puistus saab puude kasvuruumi iseloomustada keskmise puudevahelise kaugusega. Keskmine puudevaheline kaugus ja puistu hõredus on lineaarses sõltuvuses keskmisest võra läbimõõdust. Hooldusraiete kavandamisel saab kasutada puistu hõreduse ning kõrguse vahelist lineaarset seost. Samuti puistu hõreduse ja keskmise puu tüvemahu kuupjuure vahelist lineaarset seost. Hooldusraiete kavandamine on seotud intensiivse kasvu perioodiga. Eelduseks on, et puistu olukord enne raiesse määramist on sarnane

normaalpuistu seisule. Harvendusaste ja hooldusraiate korduvus on sõltuvad paljudest metsakasvatusteguritest. Harvendusastet saab määrata suhtelise, absoluutse või kombineeritud mudel abil. Absoluutse harvendamise mudeli puhul on põhiliseks puistu raiejärgne normatiivne seisund. Suhtelise mudeli korral lähtutakse normatiivsest harvendusastmest. Sageli on kasulik kasutada mõlema kombinatsioone (Korjus 1994).

Igal riigil on välja kujunenud oma metsanduslikud traditsioonid ja arusaamad kuidas läbi viia hooldusraied. Sellest tulenevalt on normatiivide kujundamine erinev, kuid põhinevad teadustöödel ning kogutud andmestikel.

### **1.3 Metsanduslikud mudelid**

Mudelid ei peegelda täpselt reaalses päriselus toimuvat, kuid eelduslikult on nad sellele lähedal. Metsanduslikud mudelid peavad arvestama väga mitmete tunnustega. Mets on ökosüsteem, kus kasvavad erinevat liiki puud ja taimed, kes kõik konkureerivad omavahel toitainete ja valgustingimuste pärast. Samuti on ilmastik pidevalt muutuv ning sellest tulenevalt ka sademed ning õhutemperatuur. Erinevaid tunnuseid, millega peab metsa modelleerimises arvestama, on palju.

Metsanduslikud mudelid näitavad üldistavalt kuidas puud kasvavad ning metsastruktuur muutub keskmiste tingimuste korral. Kui mudeleid omavahel võrrelda, siis nende täpsus erineb suhteliselt palju. Üksiku puu mudelid kirjeldavad tüve kujunemist, okste ja juurte kasvu. Regionaalsed ja puistu tasemel mudelid analüüsivad puude populatsiooni arengut määratud keskkonna tingimustes, millele lisanduvad veel inimeste mõjutused ning muud häiringud. Kõige sobilikum modellerimisviis määratakse selle järgi, kui täpne on olemasolev info ning kui täpselt tahetakse selle info järgi midagi ennustada. Puistu tasandil mudeleid saab koostada siis, kui on olemas puistu tasemel seostatud takseernäitajad, näiteks rinnaspindala ja puistu kõrgus. Üksiku puu tasandil mudel vajab üksikpuude andmeid ning puude asukoha koordinaate (Gadow ja Hui 1998).

Regionaalsed mudelid sisaldavad üldistatud tootlikkuse suurendamise seoseid ajalisel skaalas. Neid kasutatakse metsavarude dünaamika ennustamiseks ning selleks, et kirjeldada etteantud vanuseklasside jaotumist ja muutumist perioodiliste raiete tulemusena. Puistu

tasandil mudelid vajavad rohkem informatsiooni ning pakuvad suuremat detailsust. See tähendab, et nad ennustavad keskmist kõrgust, rinnaspindala ja puude arvu hektari kohta. Klassi suuruse mudelites määrab üks mudelpuu teiste puude tunnused rühmas või klassis. Mainitud mudelite tüüp vajab veelgi täpsemaid algandmeid ning seda kasutatakse kõige rohkem alternatiivsete metsanduslike võtete uurimiseks. Üksiku puu tasemel mudelid kasutavad infot selle puu asukoha ning suuruse kohta ja ta lähimate naaberpuude andmeid samuti. Ruumiline informatsioon võib olla mudelites kasutusel nii kolme- kui kahedimensionaalselt. Kolmedimensionaalseid mudeleid kasutatakse, et väljendada ka seda, kui palju naaberpuud varju tekitavad ning konkreetsele puule kasvuruumi jätavad (Gadow ja Hui 1998).

Metsanduslikul kavandamisel peab saavutama suhteliselt täpse kirjelduse tuleviku tegevuste kohta. Seda on suhteliselt kerge teha ühevanuselistes puhtpuistutes, millel on etteantud metsakasvatustsükkel. Puistu kasvatamise jooksul tehakse mitmeid raieid, ajavahemikku puistu rajamisest kuni uuendusraie lõpuni defineeritakse kui raieringi pikkust. Korduvad raieringid ühevanuselistes puistutes on kirjeldatavad ka üksikute rutiinsete tegevustega nagu näiteks harvendusraie, kasvavate puude laasimine, lageraie ja puude istutamine.

On erinevaid meetodeid, et teha ja kavandada metsamajanduslikke tegevusi ning ennustada puistu arengut. Mõned neist on mõeldud kasutamiseks ühevanuselistes puhtpuistutes ja mõned teistsugustes metsades ja teiste metsamajandamisviiside korral, näiteks püsimeetsa tegevuste kavandamine. Erinevate metsanduslike mudelite hulk on päris suur, kuid üllatavalt vähe arvestatakse nendes metsamajanduslike riskidega (Gadow 2000).

Harvendusraietel on suur mõju puistu arengule eelkõige majandatavates metsades (Gadow ja Hui 1998). Harvendusraiete modelleerimisel üksikpuude kasvul põhinevas simulaatoris on väga oluline lähteandmete koosseis ja kvaliteet, harvendusraie tüüpkirjeldus, kasvumudeli tundlikkus puudevahelise konkurentsi suhtes ning ökonoomiline hindamismeetod, mida simulaatoris kasutatakse. Üldiselt võib öelda, et on olemas kaks meetodit harvendusraiete modelleerimiseks, need on empiirilised ja analüütilised mudelid. Empiirilised mudelid vajavad andmeid juba tehtud raietelt, et interpoleerida neid tegevusi ka arvutisimulatsioonides. Analüütilise mudeli korral kasutakse tavaliselt tuntud raievõtteid või individuaalset lähenemist, et simuleerida raieid mida võib-olla mitte kunagi reaalselt ei ole toimunud (Sterba jt 2006).

Metsade majandamisel kasutatavaid harvendusraie meetodeid saab kirjeldada nii empiirilisel kui ka analüütilisel. Näiteks võib valikulist harvendusraiet kirjeldada katsega, mis sisaldab endas valikulise puude harvendamise võtteid katsealadel ning kasutada nende katsealade andmeid, et teha valem, mis kirjeldab iga puu tõenäosust, et ta harvendusraie käigus ära raiutakse. Puud kirjeldavateks muutujateks võivad olla näiteks puu suurus ning konkurentsindeks. Sarnast harvendusraiet saaks kirjeldada ka analüütiliselt, määrates puude raiumise reeglid (Sterba jt 2006).

Puistute kasvusimulaatorid on tänapäeval kombineeritud optimeerimise ja alternatiivide valiku algoritmidega. Optimeerimine otsib sihifunktsioonist lähtuvalt kogu puistute kogumile parima tegevuste tulemuse, ignoreerides vahetevahel üksikute puistute aspektist parimaid tegevusalternatiive. Suureks probleemiks jääb siiski, kuidas saada automaatselt parimat tulemust sihifunktsioonilt, mis koosneb mitmest erinevast muutujast. Sihifunktsiooni muutujateks võivad olla nüüdispuhasväärtus, bioloogilised indikaatorid, maastiku näitajad jne (Muys jt 2010). Mudelid annavad võimaluse katsetada erinevate metsamajandamise viiside ja võtetega, päriselus võib selline katsetamine olla väga kulukas ja ka väga aeganõudev. Mudelid ei paku täielikku tõtt, kuid nad näitavad, kuidas erinevad metsakasvatustlikud võtted võivad muuta puistu arengut ja seal toimuvaid protsesse.

### **1.3.1 Erinevad metsanduslikud mudelid ja simulaatorid**

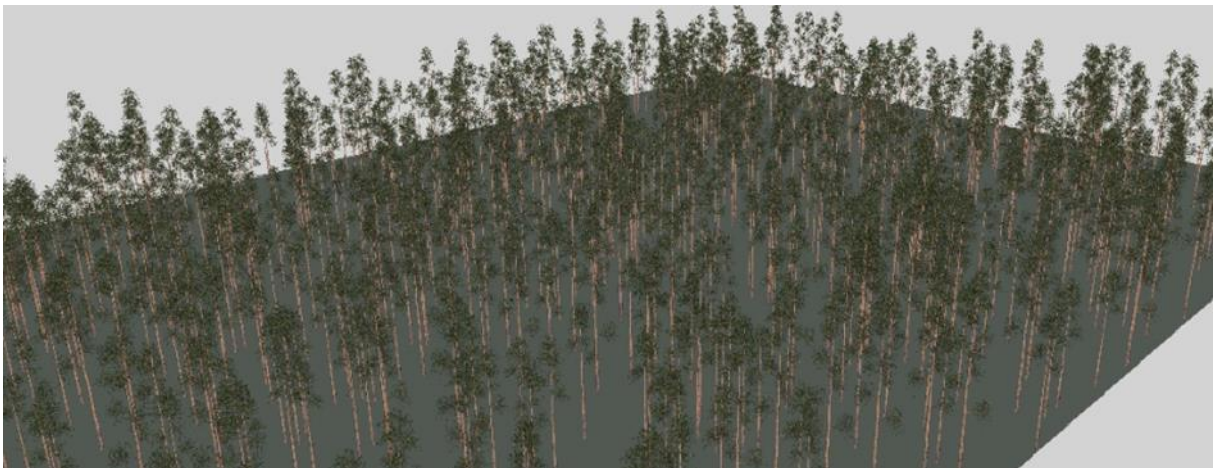
Järgnevalt on esitatud lühikokkuvõtted erinevatest metsanduslikest simulaatoritest ja mudelisüsteemidest, mida kasutatakse mitmel pool maailmas. Tavaliselt on kasutatavad mudelid mõeldud konkreetsetes geograafilises piirkonnas kasutamiseks, kuid paljusid neist on võimalik kohandada vastavalt kasutaja vajadusele.

Metsanduslik tarkvarapakett MOTTI on välja arendatud Soome Metsainstituudis. Tarkvara lubab virtuaalselt läbi viia metsamajanduslikke toiminguid ning tulemusi analüüsida. MOTTI põhiosaks on puistupõhine kasvusimulaator, mis sisaldab tootlikkuse ja üksikpuude kasvu mudeleid. Mainitud mudelid arvestavad puude kasvu ja suremust ning loodusliku uuenduse tekkimist. MOTTI lubab kirjeldada kasutaja tingimuste järgi puistu arengut raieringi lõpuni. Kasutaja saab valida erinevaid raieviise ning määrata raiutud puidu koguse

ning väljaraiutavad liigid. Raieid on võimalik ka ise ajastada. Samuti saab kasutada tarkvara enda poolt määratud majandustegevust, mis on Soome Metsaomanikele Liidu TAPIO juhendist lähtuv. Võimalik on sisestada puidusortimentide hinnad puuliikide kaupa, erinevad majandamiskulud (väetamine, harvendusraied) ning intressimäärad, selleks et teha majandusliku tasuvuse analüüsi (METLA, 2017).

Heureka süsteem on erinevate tarkvarade kogum, millega on võimalik analüüsida puistut ning planeerida metsakorraldust erinevate kriteeriumite alusel. Süsteem on välja arendatud Rootsi Põllumajandusteaduste Ülikooli poolt. Heureka on seadistatud panustama kasumlikuma metsanduse ja kõrgema bioloogilise mitmekesisuse suunas. Ökosüsteemi teenused, mida süsteemis käsitletakse on puude raie, metsanduslikud puhke võimalused, looduskaitse ja süsinikuring. Heureka lubab ise planeerida metsauuendamist, valgustus-, harvendus-, valik-ja lõppraieid. Erinevad viisid, mida Heureka kasutab analüüsiks on simuleerimine, optimeerimine ja mitmeste kriteeriumitega otsuste tegemine nii puistu tasandil, maastikul kui ka regionaalsel tasandil. Kasutades kõiki eelnevalt mainitud viise, saab probleemile läheneda holistilisel viisil. Heureka süsteem on ehitatud tuumiku ümber, mida erinevad programmid kasutavad. Heureka koosneb neljast põhiprogrammist, milleks on StandWise, PlanWise, RegWise ja PlanEval. Sisestus ning väljund andmed on salvestatud SQL serveris andmebaasides (Heurekaslu 2017).

StandWise on programm millega saab hinnata spetsiifilisi metsakorralduse viise ja uurida selle väljundeid ühe puistu jaoks. Näiteks on võimalik hinnata kasvu, hooajalisi maksumusi, energiavõsa raiumist, puistu arengut erinevate kliima tingimuste korral jne. StandWise's on võimalik lisada erinevaid metsamajanduslike toiminguid, mida kasutaja tahab läbi viia ning siis saadud tulemusi hinnata. Mudelil on sisse ehitatud visualiseerimis töörist, mis näitab puistu kaarti pealt vaates koos puudega ning puistu piiridega. Samuti on võimalik puistut esitada 3D vaates. Joonisel 1. on kujutatud võimalik saadav 3D kujutis puistust. Andmete analüüsimiseks saab koostada erinevaid diagramme, mis näitavad puistu arengut aja jooksul iga uuritava näitaja kohta (Heurekaslu 2017).



**Joonis 1.** StandWise 3D pilt (autori poolt koostatud)

PlanWise on Heureka osa kus on võimalik analüüsida erinevaid metsakorralduse võimalusi selleks et valida parim eesmärk puistu arenguks olenevalt eesmärkidest. PlanWise on mõeldud kasutuseks keskmiste ja suuremate metsaalade jaoks. Iga eraldise jaoks genereeritakse palju alternatiivseid metsakorralduse strateegiaid, mis sisaldavad endas erinevaid metsanduslike tegevusi ja metsakasvatustlike võtteid. Iga strateegia tulemust saab jälgida puistu erinevas arengu järgus. Kasutaja peab defineerima piirid, mille raamides programm tegutseb. Pärast seda toimub optimeerimis tegevus, mis määrab parimad alternatiivsed tegevuskavad igale puistule (Heurekaslu 2017).

RegWise lubab kasutajal uurida metsade arengut regionaalsel või riiklikul tasandil. RegWise on loodud pikaajalisteks analüüsideks suurtel geograafilistel aladel. Põhiline andmestik, mida kasutatakse pärineb Rootsi Riiklikust Metsainventeerimise mõõtmisandmestikust, millele lisanduvad veel digitaalsed kaardid ning kaugseire produktid. Programm sisaldab endas mudeleid, mis kirjeldavad puude arengut erinevatel rinnetel puuliikide lõikes. Metsade majandamine simuleeritakse erinevate metsakasvatustlike võtetega. RegWise kasutab Rootsi puistute andmeid ning on mõeldud selletõttu rohkem selle riigi jaoks, kuid programmi saab kohandada kasutamiseks ka teiste riikide jaoks (Heurekaslu 2017).

PlanEval on mõeldud süstemaatiliseks plaanide hindamiseks erinevate metsakorralduslike tsenaariumite üle, mis genereeriti PlanWisega. PlanEval kasutab kahte erinevat viisi kuidas hinnata metsakorraldus viiside paremust kasutajale sobivas kontekstis. Esimene viis on analüütiline hierarhiline protsess (AHP), mis teeb paariviisilisi võrdluseid eesmärkide ja alternatiivide vahel. Teine viis, mida PlanEval kasutab hindamiseks on SMART, see põhineb

hindepunktide süsteemil. Iga metsaomanik jagab punkte erinevate tegevuste kohta. Mainitud punktidega hinnatakse hiljem erinevaid kavandatavaid metsakorralduslikke tegevusi (Heurekaslu 2017).

SILVA on puistu kasvusimulaator, mis on üksikpuu põhine ja on sõltuvuses puude asukohtade ja vanusega. Mudeli põhialgoritm hindab kolmedimensioonilist puistu struktuuri selleks, et analüüsida puude omavahelist konkurentsi. Andmed mudelite tegemiseks on kogutud pikaajalistelt püsiproovitükkidelt põhiliselt Lõuna-Saksamaalt. Simulaatorisse on võimalik sisestada andmeid praktilisest metsamajandamisest. Sisendiandmete puuduste korral tekitab mudel puuduolevad andmed ise võttes aluseks süsteemis olemasoleva andmebaasi.

Puud kirjeldatakse SILVA-s järgmiste näitajate järgi, milleks on: puuliik, diameeter rinnas kõrguselt, puu kõrgus, võra kõrgus, võra läbimõõt ning puu koordinaadid. Simulaator kasutab igale puuliigile vastavaid võramudeleid, millega on võimalik luua kolmemõõtmeline võrakujutis. Simulatsiooni käigus kasutatakse ka andmeid kavandatud metsakorralduslike tegevuste kohta. Lisaks saab simulaatoris läbi katsetada erinevaid metsakorraldamise võtteid, mille alla kuuluvad näiteks harvendus-, ja valikraied ja nende kahe kombinatsioonid. SILVA analüüsib andmeid seotult erinevate keskkonna tingimustega nagu näiteks keskmine õhutemperatuur ja CO<sub>2</sub> kontsentratsioon õhus.

Lõpuks on võimalik saada kolme tüüpi väljundeid: klassikalisi kasvu ja kasvava metsamaterjali väljatuleku andmeid puistu ning üksiku puu tasemel. Siia andmete alla kuuluvad näiteks puude arv, rinnaspindala, tagavara, juurdekasv, keskmine kõrgus. Teiseks väljundi tüübiks on puistust saadav üarmaterjali sortimentatsioon ning sortimentide lõikamisest lähtuvad rahalised hinnangud materjali üles töötamise kulude kohta. Kolmandaks väljundiks on ökoloogilised väärtused. Võimalik on hinnata sotsiaalseid metsa väärtuseid ning liikidele eluks sobivaid tingimusi. Tulemusi on võimalik vaadata tekstina ja graafikutena. Samuti saab luua kolmemõõtmelise kujutise puistust (Pretzsch jt 2006).

LANDIS-II on maastiku mudel, mis loodud, et simuleerida puistu arengut ja seal esinevaid häiringuid. LANDIS-II on mõeldud kasutamiseks aladel, mille suurus ulatub üle sajatuhande hektari, selleks, et seal simuleerida maastiku dünaamikaid. Sinna alla kuulub näiteks puistute uuenemine, häiringud, seemnete jaotumine, metsade majandamine, süsinikuringe ja kliima muutuste mõjud. LANDIS-II simuleerib ruumilisi protsesse ning nende protsesside ja muustrite omavahelist suhtlemist. Maastikud on LANDIS-II kujutatud võrgustikuna ning

kasutaja poolt määratud resolutsiooniga, mis näitab võrgustiku ruudu suurust. Kõikidel ruudukestel on eelduslikult arvestatud homogeenet valguskeskkonda. Kasutatavad ruudukesed on ühendatud ökoregioonideks, millel on homogeenne kliima ning muld, samuti kasutajate poolt määratud lisad, mis moodustavad lõpuks kokku ruumilise suhtlemise hierarhia. LANDIS on ehitatud sellise põhimõttega, et erinevad ökoloogilised protsessid on esitatud erinevate moodulitena, mis kinnituvad tuumiku külge. Põhituumikus on kaheksa moodulit. Tulemusi on võimalik lõpus esitada graafikute ning diagrammidena. LANDIS-II on loodud kasutamiseks Põhja-Ameerikas (Scheller jt 2006).

SIBYLA kasvumudel arendati välja SILVAst, sest mainitud programmiga tekkis probleeme kui seda taheti kohendada Slovakkiale. Selletõttu on SIBLYLA kasvumudelil palju sarnaseid jooni SILVAg.

SIBYLA kasvumudel koosneb mitmest komponendist:

- 1) Puistustruktuuri generaator.
- 2) 3-D puistu mudel.
- 3) Arvutusmudel, mis arvutab tootlikust, ökoloogilisi ja majanduslike puistu parameetreid.
- 4) Suremuse mudel.
- 5) Harvenduse mudel.
- 6) Konkurentsi mudel.
- 7) Liikide loodusliku sobivuse mudel.

Üksikute puude andmed nagu diameeter, kõrgus, puu koordinaadid, võra kõrgus, puu kvaliteet on algselt sisestatavad andmed kasvusimulaatorile. Andmete puudumisel simuleeritakse puistu läbi puistustruktuuri generaatori.

Puistustruktuuri generaatori põhilisteks osadeks on diameetrijaotused ja kõrguskõverad. Diameetri jaotuse kõverad saadakse Weibulli funktsioonist. Võimalik on koostada erivanuselisi puht- või segapuistud.

Läbi 3D mudeli on võimalik saada puistust visuaalne pilt, mida saab kasutaja vastavalt liigutada ja keerata. Samuti võib tekitada virtuaalse reaalsuse puistust, kus kasutaja saab ringi liiguta.



Harvenduse mudel lubab kasutajal läbi viia erinevaid harvendusraieid (üla- ja alameetod, kvaliteetse võra harvendusi jne). Algoritmid, mida mudel kasutab koosnevad deterministlike mudelite kombinatsioonist ja stohhastilistest mudelitest

Liikide loodusliku sobivuse mudel hõlmab endas kahte alam-mudelit:

- 1) Mudel mis hindab relatiivset sobivust ökoloogilisel amplituudil kliimaga ning mullaga.
- 2) Mudel mis näitab potentsiaalset kõrgust ja diameetri vahemike kurvina optimaalsetes ja kõige halvemates tingimustes (Fabrika ja Iursky 2006).

BALANCE on kasvumudel, mis simuleerib puistu kasvu ja tootlikust erinevate puuliikide jaoks mitmetes keskkondades. Mudel lubab simuleerida süsinikuringi, vee tasakaalu ning toitainete ringi. BALANCE lubab uurida põhilisi mikro-metereoloogilisi ja füsioloogilisi protsesse vee tasakaalustatud kasutamiseks, puude arenguks üksikul tasandil ning kogu puistule. Simuleeritud väärtuseid mikro-metereoloogiliste ja füsioloogiliste protsesside jaoks nagu valguse jaotus ning fotosünteesi võrreldi kogutud reaalsete andmetega. BALANCE arvutab kolmemõõtmelisi üksikute puude või puistu tasandil arengut ning samuti keskkonna mõjusid. Kuna BALANCE simuleerib kasvu üksiku puu tasandil, mis lubab hinnata konkurentide mõju, puistu struktuuri, segapuistuid ning metsamajandamise mõjutusi. Seda tehakse nii, et üksiku puu kasvu mõjutab individuaalne keskkonna tingimus ning mainitud tingimused muutuvad üksiku puu arenguga. Mudel sisaldab mitmeid lähenemisviise selleks, et hinnata keskkonnatingimuste mõju üksikutele puudele. Üks nendest viisidest on Penmani-Monteithi valem, mis on vee tasakaalu arvutuse aluseks. Taime õhulõhede sisene veetasakaal on ühenduses fotosünteesiga. Kogu primaarproduktiooni on võimalik hinnata olenevalt lehepinnast, fotosünteesiliselt aktiivsest radiatsioonist (PAR), temperatuurist, CO<sub>2</sub> –st, vee ning lämmastiku varust. Terve hingamine on ülalpidamise kaod ning kasvamisel toimuv hingamine. Puude dimensioonide suurenemist hinnatakse biomassi kogunemisega aasta jooksul. Puu mõõtmete suuremine oleneb võrast, transpordist okstes, juuresüsteemi suurusest. Võra laienemis suund on selletõttu sinna poole, kus oli eelmine aasta kõige paremad assimilatsioon tingimused. Kui kogu assimilatsiooni neto väärtus on negatiivne, siis BALANCE arvab, et võra on surnud. Kui üks puu osa ei sisalda endas elavat biomassi, arvab mudel, et puu on surnud, ning see eemaldatakse simulatsioonist (Rötzer 2015).

SORTIE-ND on üksiku puu tasemel kasutatav ruumilist jaotust võimaldav mudel, kus igal puul on oma tunnuste kompleks, mis eelkõige oleneb puuliigist ja puu suuruselt. Mudel arvestab iga üksiku puu asukohaga ja mõjutustega, mida ta saab keskkonnast. Tulemused, mis saadakse simulatsioonil võtavad arvesse puude omavahelist konkurentsi, selletõttu sobib SORTIE-ND sobib, et prognoosida keerulise ehitusega puistute kujunemist (nt erivanuselised segametsad). Mudel lubab pikaajalisi simulatsioone, kus arvestatakse erinevaid metsakasvatustlikke võtteid ning kliima stsenaariumeid. Praeguseks on mudelit kalibreeritud näiteks Põhja-Ameerika, Puerto Rico ja Hispaania metsade jaoks. SORTIE-ND simuleerib iga puu eluringi, mida kasutaja on esialgselt defineerinud. Igal üksikul puul saab modelleerida erinevaid protsesse, mille alla kuuluvad kasv, suremus, järelkasvu kujunemine ning neid protsesse saab eraldi vaadelda puuliikide kaupa erinevates arenguklassides. Puuliikidel tuleb määrata allomeetrilised valemid, mis näitavad kui palju valgust tungib läbi võra. SORTIE-ND simuleerib päikese valguse liikumist terve kasvuhooaja jooksul, selleks et määrata aastane keskmine taimeaktiivne radiatsioon. Noorte puudele arvutatakse kasvu päikeseenergia olemasolu järgi. Täiskasvanuid puid (DBH üle 7,5 cm) saab kirjeldada funktsioonidena, mis sõltuvad puu suuruselt, konkurentsisist ja valguse olemasolust. Noorte puude suremust arvestatakse radiaalse kasvuga, mis põhineb empiirilistel vaatlustel, kus konkurentsis alla jäänud puud vähendavad oma radiaalkasvu ning nende suremus suureneb. Täiskasvanud puude suremust arvutatakse vastava puu suuruse valemiga, millele lisatakse puu suremust arvestav valem. Loodusliku uuendust arvestatakse kahe protsessi kombinatsiooni:

- 1) Palju seemneid iga puu toodab ning kuidas need laiali paiknevad
- 2) Seemnete idanemisprotsent erinevatel kasvupindadel (Ameztegui 2017).

SIMANFOR on veebipõhine metsakasvu ning tasuvuse simulaatori süsteem. Simulaator lubab dünaamilist metsade majandamist. Süsteemis on defineeritud andmete mudel, mis salvestab infot erinevatest metsaandmebaasidest. Võimalik on tekitada uusi andmeid ning kombineerida neid oma sisestatud andmetega. Süsteemis on olemas moodulid millega saab kasutaja enda mudeleid programmeerida. Praegune kasutatav programmeerimiskeel on C#. SIMANFORis olemasolevad mudelid lubavad kasutajal läbi viia metsa majanduslike stsenaariumite modelleerimist (Bravo jt 2012).

Eelpool mainitud mudelid ja simulaatorid näitavad, et metsanduses kasutatakse ning arendatakse neid suurel hulgal. Eelnev ülevaade andis aimduse ja kokkuvõtliku ülevaate erinevatest võimalustest milleks ja kuidas mudeleid ning simulaatoreid kasutada. Paljud neist oleksid peale ümberkalibreerimist Eestimaal kasutatavad.

## **1.4 Harvendusraied**

Pärast Teist maailmasõda toimus Eesti metsades küllaltki intensiivne metsade raiumine. Hooldusraied lõpetati 10 aastat enne seda kui puistu läks uuendusraiesse. Selline tegevus toimus kuni 1960-ndate aastateni (Tappo 1980).

Harvendusraie on metsakasvatuslik võte, mille üks peamisi eesmärke on vähendada puude tihedust puistus selleks, et parandada alles jääva puistu kvaliteeti ja puude kasvu. Harvendusraied tagavad uuendusraiel parema sortimentatsiooni. Harvendusraietega võib täita ka teisi eesmärke nagu muuta puistu liigilist koosseisu ja parandada allesjäävate puude tervisliku seisukorda (Kerr ja Haufe 2011). Harvendusraied võivad olla majanduslikult tasuvad või mittetasuvad. See oleneb metsaomaniku soovidest ja kohalikust metsamaterjali turust (Silviculture ... 2009).

Eestis läbiviidud raie kogupindala aastatel 1999-2014 on raieliikide kaupa esitatud tabelis 1. 2010 aastal suurenes harvendusraiete pindala 10 000 hektari võrra ning on püsinud stabiilsena 2013 aastani. 2014 aastal on toimunud harvendusraiete vähenemine. Lageraie pindala on üldiselt kasvanud iga aastaga. Suurim muutus on toimunud 2014 aastal, kus lageraie pindala kasvas 10 000 hektari võrra võrreldes eelmise aastaga.

**Tabel 1.** Raiete pindala raieliigiti aastail 1999–2014 (ha). Allikas: Statistikaamet, Keskkonnaagentuur (2014)

Aasta	Lageraie	Turberaie	Kokku	Valikraie	Valgustusraie	Harvendusraie	Sanitaarraie	Kokku
2014	47 075	3 938	51 013	109	19 403	30 446	30 005	79 855
2013	37 140	3 503	40 643	51	33 145	33 047	27 394	93 587
2012	36 276	3 483	39 759	109	33 192	33 854	32 816	99 861
2011	36 910	3 603	40 512	126	29 809	35 685	27 347	92 842
2010	37 279	3 594	40 874	135	25 974	33 769	28 890	88 632
2009	25 199	2 423	27 621	120	22 251	22 951	28 393	73 596
2008	25 556	2 507	28 063	56	23 467	25 891	25 913	75 271
2007	23 522	2 782	26 304	124	17 536	23 241	27 723	68 499
2006	18 740	6 371	25 111	227	17 365	21 081	36 561	75 007
2005	14 235	3 826	18 061	228	13 298	14 110	83 370	110 779
2004	23 115	12 969	36 084	2 228	15 506	45 334	32 329	93 168
2003	22 696	11 858	34 554	3 207	12 393	37 922	33 300	83 615
2002	23 938	8 996	32 934	3 281	11 128	35 283	44 994	91 405
2001	21 685	7 931	29 616	3 449	10 209	37 021	35 338	82 568
2000	19 553	6 027	25 580	4 065	9 405	38 609	34 812	82 826
1999	18 796	3 805	22 601	4 571	8 906	40 039	30 340	79 285

Harvendusraiete käigus eemaldatakse halvema omadustega puud. See tähendab, et uuendusraiesse jõuavad parema kvaliteediga puud. Harvendusraiete käigus raiutakse välja puud, mis sisaldavad vähem kõrgema kvaliteediga puitu, mis tekib säsist paar aastarõngast edasi. Harvendusraiete efekt on suurim rõngassoonelistele puuliikidele, vähemalt okaspuude seas. Puude omavahelise kauguse suurendamine puude eemaldamisega suurendab transpiratsiooni ala. Allesjäänud puude ellujäämise võimalus suureneb ning samuti tagatakse jätkusuutlik mulla- ja veekeskkond kogu raieringi jooksul. Suuruse ja tiheduse maksimumsuhe puude seas oleneb eeldusest, et teatud liiki puudel on samasugune allomeetriline kasv ning puud, mis asuvad maksimumtihedusega puistus, viivad läbi isehõrenemise. Puud, mis kasvavad üheliigilistes ja samavanuselistes puistutes suurenevad teatud piirini, mis oleneb üldisest tihedusest ning nad ei saa enam suuremaks kasvada kui pole toimunud konkureerivate puude suremist. See tundub olevat järjepidev maksimum bioloogilise tootlikkuse printsiibist lähtuvalt. Puude suuruse ja puistu tiheduse suhe on sõltumatu puistu kvaliteedist ja vanusest.

Esimene puistu harvendusraie, mis läbi viiakse, on kõige kriitilisem, sest välja raiutakse väiksemad puud, ning puistu tihedust mõjutakse kõige rohkem. Edasised harvendusraied on lihtsam läbi viia, sest raiutavad puud on suuremad ning võivad toota väärtusliku sortimentatsiooni ning puistu pole enam nii tihe ja lubab rohkem manööverdamise ruumi masinatele. Esimene harvendusraie ei tooda ilmselt kasumit ja on pigem investeering uuendusraiesse, mis tagab puistu stabiilsuse ja suurema kasumi. Tihti peale on harvendusraied kaks korda kulukamad. Harvendusraied lubavad puistus uuendusraie aega lähemale tuua, sest nad parandavad stabiilsust ja haigusekindlust. Samuti suurendavad nad tulekaitset. Harvendusraied võivad aidata täita turuvajadusi teatud metsamaterjali sortimentide üle (nt paberipuit). Harvendusraietel tuleb jälgida, et allesjäänud puudel tehtav kahju jäetakse miinimumi juurde ning puistu seisundit tegelikult ka parandatakse (Spinelli 2004).

Eestis tehakse harvendusraieid tavaliselt üks kord puistus raieringi jooksul kui tegemist pole just I või IA boniteediga puistuga, kus võidakse teha ka kaks raiet. Tabelis 2 on välja toodud Eesti raiete maht aastatel 1999-2014. Kõige väiksem oli harvendusraiate maht aastatel 2005-2006, kuid sellest ajast on toimunud stabiilne kasv (välja arvatud aastatel 2008 ja 2014).

**Tabel 2.** Raiemaht raieliigiti aastail 1999–2014 (1000 m<sup>3</sup>) Allikas: Statistikaamet, Keskkonnaagentuur (2014)

Aasta	Lageraie	Turberaie	Kokku	Valikraie	Valgustusraie	Harvendusraie	Sanitaarraie	Kokku
2014	10447	297	10745	2	231	1486	492	2210
2013	8387	246	8633	1	273	1622	416	2311
2012	7942	233	8175	1	258	1623	524	2406
2011	7960	229	8189	2	239	1691	401	2331
2010	7920	223	8143	3	208	1488	471	2167
2009	5462	143	5605	2	178	1046	327	1551
2008	5364	144	5508	1	200	1113	308	1621
2007	4999	163	5161	4	162	1028	340	1530
2006	3842	367	4209	7	153	893	501	1547
2005	2918	214	3132	5	137	578	1192	1908
2004	4675	657	5332	47	171	1574	412	2156
2003	4758	787	5545	78	138	1428	477	2043
2002	4810	479	5289	90	148	1264	694	2105
2001	4598	434	5032	109	124	1342	540	2006
2000	4342	355	4696	137	119	1448	419	1986
1999	4280	330	4610	168	111	1592	420	2123

Tabelis 3 on esitatud aastatel 2001-2014 tehtud ebaseaduslikud raied.

**Tabel 3.** Ebaseaduslikud raied aastatel 2001–2014 Allikas: Aastaraamat Mets 2014

Aasta	Rikkumiste arv	Puidukogus (m <sup>3</sup> )	Keskkonnakahju (Euro)
2001	1 010	135 487	6 762 385
2002	837	127 096	6 220 364
2003	689	112 001	4 747 818
2004	544	92 123	4 250 685
2005	136	26 782	1 094 354
2006	70	9 224	425 643
2007	43	1 363	96 009
2008	32	3 229	153 672
2009	10	530	21 406
2010	22	350	74 765
2011	22	1 502	100 766
2012	9	149	69 809
2013	11	276	48 473
2014	8	-	53 603

Tabelist 3 on näha, et 13 aastaga on rikkumiste arv märkimisväärselt vähenenud, kogu perioodi ajal peaaegu tuhande juhtumi võrra aastas. Sellest tulenevalt on ka vähenenud keskkonnakahju ja ebaseaduslikult raiutud puidukogus.

## **2. MATERJAL JA METOODIKA**

### **2.1 Kasutatavate materjalide kirjeldus**

Raienormatiivide uurimiseks on kasutatud andmeid, mis pärinevad Keskkonnainspeksioonist. Töö eesmärkide täitmiseks otsiti harvendusraie lanke, kus on toimunud üle piirnormatiivi raiumine, mida saaks hiljem mõõta ning kontrollida, kuidas on liigne raie mõjunud puistu arengule. Objektide leidmiseks esitati päring, mille sisu ja kriteeriumid on järgnevad:

Soovitavalt 2000-2010 esinenud metsaõigusnormide rikkumise juhtumid, kus on seadusest tulenevalt fikseeritud harvendusraie käigus keskkonnakahju tekitamine puistu liigse harvendamise tõttu. Soov on leida reaalseid objekte, mis täna võiksid olla looduses alles ja üles leitavad, et nende praegust seisundit hinnata ja takseertunnuseid mõõta. Otsene omanikuinfo ja juhtumitega seotud info ei ole vajalik. Vajalik on objekti tuvastamiseks asukohainfo (võimalusel katastritunnus ja puistu tuvastamiseks eraldise number).

-Omand: võib olla nii riigi kui eraomand;

-Enamuspuuliik: Mänd, kask või lehtpuu-segamets;

-Puistu vanus raieajal: männik 35-55 aastat; kaasik ja segamets 20-45 aastat;

-Puistu rinnaspindala peale raiet 65-90% harvendusraie järgsest lubatud rinnaspindala miinimummäärast;

-Andmed: puistu mõõtmisandmed raie toimumise aastast (inventeerimise aeg soovitavalt mitte rohkem kui aasta peale raiet).

Esialgsed probleemid tekkisid sellega, et tegemist oli kriminaaljuhtumitega, mille andmete esitamine ei ole avalikult lubatud. Kuna päringusse tulnud juhtumid olid aegunud peale kümne aasta möödumist, siis lubati neid kasutada. Keskkonnainspeksiooni sisekorrast tulenevalt hävitatakse juhtumite kaustad peale kümne aasta möödumist, kuid valikusse jäänud juhtumite kaustad ootasid Riigiarhiivi poolset kontrollima, mistõttu olid need kaustad

Keskkonnainspeksioonis alles. Ametlik päring saadeti Keskkonnainspeksiooni 16 märtsil aastal 2017, millele tuli vastus 27 märtsil. Päringu tulemuseks tuli umbes 16 juhtumit, mis kõik pärinesid Võrumaalt. Kasutusele võeti mainitud piirkond, sest Võrumaalt tulid andmed kõige kiiremini. Juhtumite sobivuse selgitamiseks külastati 10.04.2017 Võrumaa Keskkonnainspeksiooni kontorit. Paljud juhtumid ei sobinud antud töö eesmärgiga, sest täius oli viidud madalamale kui soovitud ning sisuliselt oli terve puistu lagedaks raiutud harvendusraie käigus. Erinevate juhtumite ülevaatamisel kasutati Deskis OÜ tarkvara Metsakorraldus, millega kontrolliti puistu olemasolu ning ligipääsemise võimalusi. Mõnede eraldiste ortofotode lähemal vaatlusel leiti juhtumeid, kus puistu oli hilisemalt lagedaks raiutud ning mida ei saanud selletõttu kordusmõõtmiseks kasutada. Pärast päringus olnud toimikute uurimist valiti välja viis kinnistut, millest kaks olid kaasikud ja kolm männikud.

## 2.2 Puistute kirjeldus

Andmekaitse seaduse kohaselt ei või töös avaldada kasutatud puistute täpset asukohta ja omanikku. Antud töös esitatakse küla- või piirkonnanimi ning üldised takseerandmed eraldiste kohta. Puistutes on toimunud aastate jooksul eraldiste numbrite ja piiride muutused. Antud magistriöös on kasutatud algseid eraldiste numbraid, et andmeid esitada. Tabelis 4 on antud igale puistule vastav number, et hiljemalt oleks töös neid lihtsam kirjeldada. Tabelis 5 on toodud nelja puistu takseerkirjeldused enne ja kolmel pärast harvendusraiet, sest välitööde käigus selgus, et kahes puistus oli toimunud lõppraie. Ühel puistul puudusid terviklikud takseerandmed, selletõttu neid tabelis 5 ei ole näidatud. Viimases tulbas on esitatud rinnaspindala m<sup>2</sup>/ha ja järelkasvu arv tk/ha kohta.

**Tabel 4.** Puistute üldandmed ja vastavus juhtumile (KKI 2017).

Juhtum	Asukoht	Pindala	Eraldis	Boniteet	Kasvukohatüüp
1	Võrumaa, Ähijärve küla	0,7	7	1A	Jänesekapsa
2	Võrumaa, Härma küla	1,9	1	2	Pohla
3	Võrumaa, Kõõru küla	3,6	3	3	Pohla
4	Võrumaa, Hilläkeste küla	0,4	2	1	Jänesekapsa-pohla



Tabelist 4 võib näha, et tegemist oli erineva suuruse ja boniteediga eraldistega.

**Tabel 5.** Puistute takseerandmed enne ja pärast harvendusraiet (KKI 2017).

Juhtum	Pe	Rin	D (cm)	H (m)	A	M (m <sup>3</sup> /ha)	G(m <sup>2</sup> /ha) /N(tk/ha)
1	KS	1	24	25	55	206	15,7
	MA	1	22	24	60	15	1
					<b>Kokku</b>	221	<b>16,7</b>
	KU	2	16	17	40	86	8,3
Pärast raiet							
	KS	1	25,5	26	67	225	19
	MA	1	23,5	26,3	72	44	4
					<b>Kokku</b>	269	<b>23</b>
	KU	2	21,8	19,8	52	155	16,1
2	MA	1	22	22	68	261	26,4
Pärast raiet							
	MA	1	28	23	80	160	15
	MA	j	1,5	2	10		7000
	KS	j	2	4	10		1000
	HB	j	2	4	10		1000
3	MA	1	22	19	90	235	16,4
Pärast raiet							
	MA	1	26	22	98	196	19
	MA	j	1	1,5	6		5000
4	KS	1	22	23	55	181	14
	KU	1	22	23	55	15	1
	MA	1	22	23	55	15	1

Tabelis esitatud kordusmõõtmised on tehtud ligikaudu 10 aastat pärast esialgset mõõtmist.

## 2.3 MOTTI kasvusimulaator

Välitööde käigus koguti andmeid selle kohta, mis juhtus puistuga üle harvendusraie normatiivi raiudes. Selleks, et kontrollida, mis toimub puistuga kui raiuda Eesti seaduste piirides ning 10% ja 20% üle harvendusraie normatiivi, kasutati kasvusimulaatorit MOTTI. Samuti on kasutatud Soome TAPIO enda majandamiseviise MOTTI-s, mis näitaks kuidas Soomes oleks puistut majandatud. Tabel 6 esitab erinevaid simulatsioone, mis näitavad simulaatoris kasutatud rinnaspindalasid. Tabel 7 on esitatud rinnaspindalad, millega simuleeriti juhtumeid MOTTI-s. Tabel 6 esimene ja kolmas simulatsioon kujutavad vastavalt männikuid I ja II boniteedi klassiga. Simulatsioon kaks on I boniteedi kaasik.

MOTTI on mõeldud kasutamiseks Soome puistutes ja on ekstrapoleerimise suhtes tundlik. Erinevate simulatsioonide ekstrapoleerimise asemele võeti asukohaks Vantaa. Mainitud piirkond asub Lõuna-Soomes Uusimaa maakonnas Helsingist põhjas. Samuti paikneb Vantaa mere otsesest mõjust piisavalt kaugel. Vantaa on Põhja-Eestile suhteliselt lähedaste kasvutingimustega (Korjus jt 2011).

Tabelis 6 on rinnaspindaladele, mida kasutati võrdluseks toodud Eesti seadusandluse järgi lubatud rinnaspindalad, milleni oleks võinud raiuda. Tabelis 7 olevad rinnaspindalad on TAPIO ja TAPIO 2 näitavad, et Soome TAPIO kohaselt oleks puistus tehtud kaks harvendusraiet. TAPIO kohaselt teeb MOTTI kõrgema boniteedi puistu korral tavaliselt 3 harvendusraiet ning raieringid on 10-20 aastat lühemad kui Eestimaal.

**Tabel 6.** Motti simulatsioonide rinnaspindalad

Simulatsioon	Pe	Harvendusraie	G peale esimest harvendust (m <sup>2</sup> /ha)		G peale teist harvendust (m <sup>2</sup> /ha)	
			Raiuti	Lubatud	Raiuti	Lubatud
1	MA	TAPIO järgi	17,2	16,8	20,1	19,5
	MA	Seaduse järgi	16,6	16,8	19,1	19,5
	MA	10 % alla normatiivi	14,9	16,8	17,2	19,5
	MA	20 % alla normatiivi	13,2	16,8	15,2	19,5
2	KS	TAPIO järgi	15,1	14,2	14,9	17,3
	KS	Seaduse järgi	12,4	12,3		
	KS	10 % alla normatiivi	11,2	12,3		
	KS	20 % alla normatiivi	10,0	12,3		
3	MA	TAPIO järgi	15,1	16,8	18,4	18,2
	MA	Seaduse järgi	16,8	16,8	18,2	18,2
	MA	10 % alla normatiivi	15,2	16,8	16,4	18,2
	MA	20 % alla normatiivi	13,4	16,8	14,6	18,2

Tabelist 6 saab näha, et Soome kohaselt oleks simulatsiooni kahe kaasikus tehtud kaks harvendusraiet. TAPIO kohaselt oleks teisel harvendusraiel kaasikute puhul tehtud Eesti seaduste vastane raie.

**Tabel 7.** Juhtumite erinevad simulatsioonid

Juhtum	Harvendusraie	G (m <sup>2</sup> /ha)
1	TAPIO	24,7
	TAPIO 2	23,9
	Päris	17,0
	Kaitseala	21,9
	Lubatud 1998	20,9
	20% alla 2006	14,3
2	TAPIO	20,2
	Päris	17,8
	Lubatud 1998	21,3
	Lubatud 2006	22,1
	10 % alla 2006	19,9

Tabelis 7 olev Päris rida näitab kui madalale puistu realselt raiuti. Kuna raiumine toimus enne 2006 aasta uute normatiivide kasutuselevõttu, kasutati sellel ajal veel vanu 1998 aasta normatiive, mis on ka võrdluseks toodud. Juhtumi kahe puhul ei lisatud 20 % alla praeguse normatiivi raiumist, sest see oli praktiliselt sama, kuidas seda puistut päriselt raiuti. Juhtumis üks ei ole 10 % alla praeguse normatiivi raiumist, sest see oli ka peaaegu sama kuidas puistut päriselt raiuti. Kaitseala rida viitab täiendavatele piirangutele kaitseala tõttu. MOTTI-ga kasutati ainult juhtumeid 1 ja 2, sest ülejäänud juhtumitel oli juba enne raie tegemist rinnaspindala liiga madal, et harvendust teha.

## 2.4 Mõõtmisel kasutatav metoodika

Harvendusraiete rinnaspindalade kordusmõõtmiseks kasutati Bitterlich lihtrelaskoopi avasuhtega 1:50, millega mõõdeti puude rinnaspindala 1,3 meetri kõrguselt juurekaelast. Keskmiselt tehti eraldistes vähemalt kuus ringproovi. Ringproovid tehti võimalikult hajutatult. Diameetrite mõõtmiseks kasutati kluppi, millega mõõdeti puid 1,3 meetri kõrguselt juurekaelast. Kõrguse mõõtmiseks kasutati Vertex III kõrgusemõõdjat ning transponderit, mis asetati rinnaskõrgusele. Igas ringproovi kohas valiti välja keskmised puud, mis iseloomustaksid puistut kõige paremini. Mainitud puudel mõõdeti kõrgus ja diameeter. Vanuse määramiseks võeti puudelt juurdekasvu puuriga proovid, millelt loeti aastarõngaid (Järvis 2010). Puuliigid märgiti järgnevalt:

MA – mänd KU – kuusk LH – lehiseliigid NU – nululiigid TS – ebatsuuga TO – teised okaspuud TA – tamm SA – saar VA – vaher JA – jalakas KS – aru- ja sookask HB – haab LM – sanglepp LV – hall lepp PN – pärn PP – papliliigid RE – remmelgas TL – teised lehtpuud. (Metsa korraldamise juhend 2009 lisa 14).

Rinnaspindala, kõrgus ja diameeter arvutati ringproovide aritmeetilise keskmisena. Tagavara arvutuseks kasutati järgnevaid valemeid (Järvis 2010).

$$T = \text{prooviringi rinnaspindala} : G100 \times 100 \quad (1.)$$

Kus T on prooviringi täius %;

Prooviringi rinnaspindala – prooviringis mõõdetud rinnaspindala m<sup>2</sup>;

G100 – Puistu rinnaspindala 100% täiuse korral m<sup>2</sup>/ha (Metsa korraldamise juhend 2009 lisa 13).

$$M = T \times T100 / 100\% \quad (2.)$$

Kus M on puistu tagavara m<sup>3</sup>/ha;

T100 - Puistu maht 100% täiuse korral m<sup>3</sup>/ha (Metsa korraldamise juhend ... 2009).

Kui mõõtmine tehti iga puistuelemendi kohta eraldi, siis arvutati tagavara kõikide prooviringi puuliikide arvutatud tagavarade aritmeetilise keskmisena. Puhtpuistutel kasutati

vastavat peapuuliiki, et arvutada tagavara. Andmete töötlus viidi läbi programmiga MS Excel.

### **3. TULEMUSED**

#### **3.1 Arvutisimulatsioonide tulemused**

Tabelis 8 on näidatud takseerandmed, mis saadi erinevate simulatsioonide läbiviimisel ning nüüdispuhasväärtus 3% intressimäära korral. MOTTI kohaselt oleks kõige tulu toovam puistu olnud simulatsiooni 1 TAPIO majandamise puhul, kus NPV saadi 1825 eurot. Tegemist oli ka 17 aastat lühema raieringiga kui Eesti lubatud. Sellest tulenevalt on ka lõpptagavara võrreldes teiste harvendusraietega väiksem. Tabelist võib välja lugeda, et mida rohkem rinnapindala vähendada, seda väiksem on lõpptagavara. Samas suureneb puistu puude diameeter, sest kasvuruumi on rohkem. Kõrguse suurenemine on marginaalne. Intensiivsema harvendusraie korral kasutatakse rohkem puitu varem ära. Puidu kvaliteedist ei saa rääkida, sest MOTTI ei paku selle hindamise võimalust. Uurides MOTTI ümarmaterjali sortimentatsiooni välja tulekut, siis seal valitses loogika, mida rohkem puitu lõppraies seda rohkem palki ja paberipuitu tuleb. Tabelist võib näha, et TAPIO kohaselt oleksid männikute raieringid lühemad kui Eestis lubatud. Soome alusel viidi kaasikutes läbi kaks harvendusraiet, mille tõttu on tagavara Eesti tingimuste järgi väiksem enne lõppraiesse minekut.

**Tabel 8.** Puistute takseerandmed enne lõppraiet ja puistute kasvatamise nüüdispuhasväärtus 3% intressimäära korral arvutisimulatsioonides

Simulatsioon	Harvendusraie	A	G (m <sup>2</sup> /ha)	H (m)	D (m)	M (m <sup>3</sup> /ha)	NPV (Eur)
1	TAPIO järgi	73	36,8	23,2	29,2	385	1825
	Seaduse järgi	90	42,1	25,3	30,4	467	1433
	10 % alla normatiivi	90	39,4	25,4	31,3	438	1430
	20 % alla normatiivi	90	36,2	25,6	32,4	403	1391
2	TAPIO järgi	65	19,7	27,8	24,6	245	62
	Seaduse järgi	60	24,5	25,8	21,4	283	-47
	10 % alla normatiivi	60	24,9	25,9	21,6	289	30
	20 % alla normatiivi	60	24,4	26,1	22,0	286	68
3	TAPIO järgi	77	31,2	20,0	27,6	292	378
	Seaduse järgi	90	35,7	21,5	28,4	354	442
	10 % alla normatiivi	90	33,3	21,7	29,5	331	342
	20 % alla normatiivi	90	30,4	21,9	30,7	304	309

Kaasikute puhul osutus, et Soome raiering oleks pikem olnud kui Eestimaal.



### 3.2 Tegelike juhtumite arvutisimulatsioonid

Juhtumite puhul saadud takseerandmed MOTTI simulatsioonist on esitatud tabelis 9.

**Tabel 9.** Juhtumite takseerandmed enne lageraiet arvutisimulatsioonide tulemusena

Juhtum	A	Harvendusraie	G (m <sup>2</sup> )	H (m)	D (cm)	M (m <sup>3</sup> /ha)
1	78	TAPIO	26,9	31,2	30,0	365
	60	Päris	20,7	27,7	23,8	257
	60	Kaitseala	27,0	26,4	21,1	323
	60	Lubatud 1998	25,7	26,7	21,6	310
	60	20% alla 2006	17,4	28,4	24,8	220
2	80	TAPIO	24,8	24,4	27,3	270
	90	Päris	31,6	26,0	30,5	356
	90	Lubatud 1998	36,5	25,7	28,9	410
	90	Lubatud 2006	37,6	25,6	28,6	421
	90	10 % alla 2006	34,6	25,8	29,5	389

Tabelis 9 esitatud andmetest oleks juhtumi ühe puhul TAPIO kohaselt raiering lühem olnud ja selletõttu ka tagavara väiksem. Tulemustest saab väita, et intensiivsema harvendusraie korral kasvab puistu diameetrist ja kõrgusest suuremaks, kuid tagavara on uuendusraie eelselt väiksem. Juhtum ühe puhul oli päris mõõtmistulemuste puhul tagavara 269 m<sup>3</sup> hektari kohta, mis ei erine väga MOTTI enda prognoosist.

### 3.3 Juhtumite uuringud

Juhtumite uuringul on kasutatud juhtumeid 1-3, sest neljandas juhtumis oli tehtud lageraie. Eesmärgiks on anda puistu seisukorra hinnang enne ja pärast harvendusraie läbiviimist. Seda ei oleks juhtum 4 võimaldanud.

### 3.3.1 Juhtum 1

Eraldisel seitse oli raie teostamise ajal 55 aastane IA boniteediga jänesekapsa kaasik suurusega 0,7 ha. Raie käigus raiuti välja esimese rinde kaski, mände ja mõni teise rinde kuusk. Eraldist läbib kolm väljaveoteed, mis on sirged ja laiad ning keskmise laiusega 4,6 meetrit. Teede vahekaugus on põhja pool 19,5 meetrit ja lõuna pool 14 meetrit Enamus oksti paiknes väljaveoteedel ning märgata oli üksikuid tormiheite puid. Oksad olid maas kuivanud ning metsamaterjal ära viidud. (KKI 2017). Joonisel 2 on kujutatud harvendusraie järgne kokkveotee seisund 12 aastat pärast raiet.



**Joonis 2.** Juhtum ühe raiejärgne kokkveotee 12 aastat hiljem

Joonisel 3 on pilt 12 aastat pärast harvendusraiet. Kordusmõõtmise visuaalsel vaatlusel olid selgesti nähta kokkveoteed ning samuti raiutud kännud. Märgata oli üksikuid kõdunevaid mahalangenuid puid ning uuemal ajal tekkinud tormiheidet. Näha olid üksikud puude vigastused, mis olid kunagi raie käigus tekkinud.





### **Joonis 3. Juhtum ühe raiejärgne seisund 12 aastat hiljem**

Visuaalse vaatluse tulemusena võib väita, et kasvama oli jäetud veel üksikuid puid, mida oleks pidanud harvenduse käigus eemaldama, sest need olid halbade kasvuomadustega. Harvendusraie käigus viidi rinnaspindala 17 m<sup>2</sup>/ha, kuid lubatud oli 21,9 m<sup>2</sup>/ha, mis on ligikaudu 20% alla piirmäära. Visuaalselt hindamise põhjal ei saa väita, et puistu erineks teistes harvendusraie järgsetest puistutest.

### **3.3.2 Juhtum 2**

Eraldisel 1 suurusega 1,9 hektarit kasvas keskealine ebaühtlase liituse ja täiusega II boniteediga pohla kasvukoha männienamusega puistu. Harvendamise käigus oli välja raiutud jämedamad männid. Puudusid konkreetset väljaveoteed, mis paiknesid kaootiliselt mäenõlvadel. Eraldisel paiknesid ka enne raiet häilud, mis raie käigus raiuti veel suuremaks. Pärast harvendusraiet oli rinnaspindala 17,8 m<sup>2</sup>/ha (KKI 2017). Kordusmõõtmisel saadi



rinnaspindala 15 m<sup>2</sup>/ha, mis toimus 13 aastat hiljem ning mis omakorda võib viidata vahepeal veel ühele tehtud raiele. Joonisel 4 ja 5 on kujutatud harvendusraie järgne seisund 13 aastat hiljem ning joonisel 4 täpsemalt ühte häilu. Eraldise uuesti mõõtmine kinnitas keskkonnainspektsiooni tähelepanekuid. Puud paiknesid ebaühtlaselt ja üle eraldise võis märgata suuri häile. Kokkuveoteedest polnud eriti midagi märgata ning igal pool kasvas looduslik uuendus, milles domineerisid männid.



**Joonis 4.** Juhtum kahe harvendusraiejärgne seisundi häil 13 aastat hiljem

Jooniselt 4 saab näha häilu, mis paiknes eraldise keskosa lähedal. Häilus kasvas looduslik uuendus. Kõik häilud, mis eraldisel paiknesid ei olnud täitunud loodusliku uuendusega.





**Joonis 5.** Juhtum kahe harvendusraiejärgne seisund 13 aastat hiljem

Joonisel 5 võib näha haava ja kase uuendust. Juba enne harvenduseraie tegemist oli eraldises l ebaühtlane täius ja liitus ning pärast raiet muutus see veel ebakorrapärasemaks. Pärast harvendusraiet oli rinnaspindala 17,8 m<sup>2</sup>/ha, aga lubatud piirmäär 21,3 m<sup>2</sup>/ha. Rinnapindala viidi umbes 20% alla lubatud normatiivi. Kuna võib kahtlustada, et vahepeal tehti veel raieid, siis ei saa antud puistule väga täpset hinnangut anda visuaalselt. Tegemist ei olnud klassikalise harvendusraie langiga, sest puud kasvasid ebaühtlaselt, kas suuremate kogudena või üksikult.

### 3.3.3 Juhtum 3

Tegemist oli III boniteediga pohla kasvukohatüübi männikuga, mis asus künklikul reljeefil 3,6 ha suurusel eraldisel (KKI 2017). Joonistel 6 ja 7 saab näha puistu seisundit kümme aastat pärast harvendusraiet.





**Joonis 6.** Juhtum kolme harvendusraiejärgne seisund 10 aastat hiljem

Joonise 6 on näha männi loodusliku uuendust, mis paiknes eraldise keskel. Piiride poole liikudes ei olnud märgata loodusliku uuendust sellises suures, vaid üksikud männikasve. Eraldisel oli näha vanu harvendusraiest jäänud kände. Osadel männipuudel oli märgata kahjustusi. Joonis 6 kinnitab, et tegemist oli künkliku reljeefiga. Samuti olid puistus mõned üksikud tormiheites langenud männid.





**Joonis 7.** Juhtum kolme harvendusraiejärgne seisund 10 aastat hiljem

Seaduse järgi oli raie ajal lubatud rinna pindala piirmäär harvendusraie korral antud puistus  $20,7 \text{ m}^2/\text{ha}$ , ja reaalselt viidi see kuni  $10,6 \text{ m}^2/\text{ha}$ . Enne raiet oli puistu rinna pindala  $16,4 \text{ m}^2/\text{ha}$ , mis tähendab, et puistus ei oleks tohtinud harvendust teha (KKI 2017).

## 4. ARUTELU

Normatiivsed näitajad on kehtestatud, et piiritleda või defineerida teatud tegevusi või neid kirjeldavaid mõisteid kõikidele osapooltele üheselt mõistetavaks. Siia alla kuuluvad ka harvendusraied, sest kui ei kasutata piiravaid näitajaid või piirmäärasid, siis on võimalik harvendusraie definitsioon tõlgendada näiteks täiesti teise raiena. Problemaatika tekib selles, kas mainitud normatiivid ei ole kujunenud liiga piiravaks ning on mõistlikult seletatavad. Harvendusraied on metsaomaniku võimalused kasutada ära nagunii looduslikus konkurentsivälja langevad puid vahetulu saamiseks või vähemalt kujundada välja puistu, mis pakub parema kvaliteediga puitu lõppraies maksimum tulu teenimiseks. Praeguses Eesti seadustikus on harvendusraied defineeritud rinnaspindala ja kõrguse järgi (Metsaseadus 2006). Sisuliselt on tegemist ümbertõlgendustega ENSV aegsetest normatiividest (Hooldusraiate eeskiri 1995). Rinnaspindala valitakse harvendusraietel peapuuliigi järgi, mis ei luba muuta näiteks peapuuliiki kui metsa omanik seda sooviks, sest muidu võib tekkida konflikt seadusega. Näiteks kui kasvatakse kasepuistus turbe all kuusikut ning kuusk jõuab teatud vanuseni ja metsaomanik tahaks kased maha raiuda, siis pole see lubatud, sest muidu tekiks probleem seadusega.

Simulatsioonide läbi viimisel saadud tulemused näitavad, et mida rohkem raiuda seda vähem lõppraiesse puitu jääb, kuid vahed ei ole väga suured ja ulatuvad kuskil 30-60 m<sup>3</sup> ning arvestada tuleb sellega et vaheraietes saadakse puitu, mis kasutatakse varem ära. Puidu kvaliteedile ei saa MOTTI simulatsioonide puhul hinnangut anda. Sortimentatsiooni puhul võib rääkida suurus hulkadest, mida MOTTI tõlgendas loogika alusel, kus suurema tagavara puhul tuleb lõppraies rohkem palki ning paberipuud. Samuti intensiivsema harvenduse puhul saadakse vaheraietest rohkem palki ja paberipuud.

MOTTI kasutamise probleematika seisneb selles, et ta pole loodud Eesti, vaid Soome jaoks. Metsakasvatuse traditsioonid ja viisid on Soome erinevad. Samuti on Soome muld ja kliima teistsugused. MOTTI on tundlik interpoleerimise suhtes ning sellepärast kasutati töö tegemisel Eestile kõige sarnasemaid tingimusi, kuid need ei vasta kunagi täielikult Eesti puistute tingimustele (Korjus jt 2011). Probleemid, mis MOTTI kasutamisega välja tulid



seisnesid selles et simulaator kasvatas kohati puistut Eesti kohta liiga suurelt. Rinnaspindalad võisid tõusta üle 40 m<sup>2</sup>/ha kohta enne kui iseharvenemine tööle hakkas. MOTTI plussideks on see et ta on kasutajasõbralik ning annab ettekujutuse kuidas puistu võiks pärast erinevad metsamajandamise viise edasi kasvada. Varasemalt on uuritud Eesti tingimustes MOTTI-ga raieringide pikkust, kus jõuti järeldusele, et teoreetiline osa ei ole piisav ning vaja on rakendada praktilisi katseid (Korjus jt 2011). Simulaatorid ei anna kunagi reaalselt elupilti ning selletõttu tuleks teha ka antud temaatikal praktilisi katseid.

Kordusmõõtmistel saadud tulemused näitavad, et juhtumite 1-3 korral on toimunud, rinnapindala ja tagavara kasv. Juhtumi kahe puhul tekkis kahtlus, et peale üle normatiivide tehtud harvendusraiet korraldas omanik veel ühe raie, mis tegi juhtumi hindamise keeruliseks. Visuaalsete inspeksioonide ning kordusmõõtmiste tulemusena ei saa väita, et puistutes oleks tehtud midagi valesti. Juhtumid 1 ja 3 nägid välja nagu tavalised puistud, kus on tehtud harvendusraiet. MOTTI-ga juhtumeid 1 ja 2 simuleerides võib öelda, et juhtumi ühe puhul olid päriselu ja arvutisimulatsioon rinnaspindalad sarnased, 20,7 m<sup>2</sup>/ha MOTTis ning 23 m<sup>2</sup>/ha peale mõõtmist. Juhtumi kahe puhul ei saa neid võrrelda, sest rinnaspindala tuli peale kordusmõõtmist madalam kui peale harvendusraiet, kuid mõõtmised tehti aastaid hiljem. MOTTI arvates on lühemad raieringid kõrgema boniteediga puistute korral tulutoovamad, mida näitas ka simulatsioon 1.

Antud töö tulemusega ei saa väita, et praegused harvendusraie normatiivid oleksid täielikult mõistlikud. Neid kasutatakse, et piiritleda ning defineerida harvendusraiet. Metsaomanikul võiksid olla suuremad õigused enda puistus tegutsemisel ja kujundamisel. Normatiivid peaksid olema suurus vahemikuga ning paindlikumad. Metsaomanikul oleks valida, siis kas ta raiub rohkem puitu vahekasutuse käigus või kujundab endale näiteks uue peapuuliiga puistu. Praegu ei saa väita, et töö tegemise jooksul mõõdetud puistutele oleks tehtud pöördumatuid keskkonnakahjusid ning puistute tootlikus oleks üldkokkuvõttes langenud.

## KOKKUVÕTE

Töö eesmärgiks oli uurida Eestimaa harvendusraie normatiive ja nende praegust sobivust üha muutuvale keskkonnale ning tingimustele.

MOTTI-ga simuleeriti erinevaid puistud ja nende intensiivsemat raiumist 10% ja 20 % üle lubatud piirmäära. Samuti mõõdeti kolm puistut, kus oli tehtud üle normatiivide raiumine kümme või rohkem aastaid tagasi. MOTTIt kasutati samuti, et simuleerida reaalselt harvendusraie käigus raiutud puistuid. Tulemuste käigus selgus, et puistute üle raiumisel ei olnud väga suuri muutuseid lõpp tagavarale 30-60 m<sup>3</sup> ning siia ei ole arvestatud veel harvendusraietest saadud puidu kogused. Erinevate päriselus juhtumite korral visuaalsel inspeksioonil ja kordusmõõtmistel leiti, et üle lubatud harvendamise piiri tehtud harvendusraietega ei tehtud tegelikult suurt kahju looduskeskkonnale ega puistute toodanguvõimele. Kindlasti oleks vaja teha praktilisi uuringuid antud temaatikal.

# **ANALYSIS OF MINIMUM BASAL AREA REQUIREMENT ON THINNINGS**

## **Summary**

The purpose of this thesis was to analyse Estonians minimum basal area requirements on thinnings. We wanted to see if the requirements are too strict, loose or acceptable. Also we were interested what happens to forest production and health if thinnings go 10% and 20% over minimum basal area.

MOTTI growth simulator was used to create different scenarios on thinnings. We compared MOTTI results with real life forest thinning data. Three different forests were re-measured that had been over cut during thinning at least ten years ago to see what had happened to their development. During remeasuring visual inspection of forest conditions was also made. MOTTI was used to simulate different thinning conditions in re-measured forests. Forest data was taken from Estonians Natural services.

We found that the differences between growing stock during different thinnings before the final cut was not that large: about 30-60 m<sup>3</sup>. The visual inspection of the cases 1 and 3 showed that there was nothing wrong with the forest appearance ten or more years after the thinnings. According to both simulated and gathered data thinnings over the minimum basal area didn't have a negative effect to forest production and natural development. Further practical studies are necessary.

## KASUTATUD KIRJANDUS

1. Aastaraamat Mets 2014 (2016). [http://www.keskkonnaagentuur.ee/sites/default/files/aastaraamat\\_mets\\_2014.pdf](http://www.keskkonnaagentuur.ee/sites/default/files/aastaraamat_mets_2014.pdf). [on-line] (11.04.2017).
2. **Ameztegui, A.** (2017). <http://ameztegui.weebly.com/sortie-nd-how-does-it-work.html>. [on-line] (11.03.2017).
3. Eesti NSV metsade hooldusraiete eeskirjad (1973). /Toim. R.Sein. Tallinn: Eesti NSV Metsamajanduse ja Looduskaitse Ministeerium. 42 lk.
4. Eesti NSV metsakoodeks : ametlik tekst (1979). Tallinn: Eesti Raamat. 96 lk.
5. **Eteverk, I.** (2005). Taasiseseisvunud Eesti metsapoliitika ja -seadusandluse kujunemine (aastani 2005). Tartu: Vali Press. 363 lk.
6. **Fabrika, M., Ďurský, J.** (2005). Algorithms and software solution of thinning models for SIBYLA growth simulator. Journal of Forest Science. Vol .51(10), pp. 431–445.
7. **Gadow, K.** (2000). Evaluating risk in forest planning models. Silva Fennica. Vol. 34, No. 2, pp. 181–191.
8. **Gadow, K. v., Hui, G.** (1999). Modeling Forest Development. Forestry Sciences. Kluwer Academic Publishers. 213 pp.
9. **Gary, K., Jens, H.** (2011). Thinning Practice A Silvicultural Guide version 1.0. United Kingdom: Forestry Commission. 54 pp.
10. Harvendusraie tegemisel metsa rinnaspindala ja täiuse lubatud alammäärade kinnitamine (1999). <https://www.riigiteataja.ee/akt/90625> (5.03.2017).
11. Heureka slu (2017). <http://heureka.slu.org/help/en/index.html?introduktion.htm> [on-line] (14.02.2017).
12. Hooldusraiete eeskiri (1995). [on-line] <https://www.estlex.ee/tasuta/?id=8&aktid=15509&asutus=11&fd=1&grupp=3&leht=29>. (7.03.2017).
13. Hooldusraiete normatiivid: (harvendusaste, järjekord, sortimendid) (1980). /Koost. E.Tappo. Toim. K. Saveljeva. Tallinn: Eesti Metsainstituut, Majandusuuringute Laboratoorium, Eesti Metsakorralduskeskus. 47 lk.

14. **Järvis, J.** (2010). METSA RELASKOOPMÕÕTMINE Puistu rinnaspindala, täiuse ja mahu määramine lihtrelaskoopt kasutades II, täiendatud trükk. AS Ecoprint. 20 lk.
15. Keskkonnaministri 27. detsembri 2006. a määruse nr 88 „Metsa majandamise eeskiri“ lisa 1
16. KKI (2017). Keskkonna inspeksiooni toimikud.
17. **Korjus, H.** (1994). Hooldusraiete arvutuslik kavandamine. (Magistritöö). Eesti Põllumajandusülikool Metsandusinstituut. Tartu.
18. **Korjus, H., Padari, A.** (1994). Hõreduse piir Soome ja Rootsi hooldusraiete normatiivides. – Teadustööde kogumik/ Toim. Lember. S. Teadustööde kogumik metsandus nr 173. Tartu: EPMÜ kirjastus, lk 35-48.
19. **Korjus, H., Põllumäe, P., Rool, S.** (2011). Mäni-, kuuse- ja kasepuistute majandamise tasuvus lühikese raieringi korral. Metsanduslikud Uurimused 54, lk 28–36.
20. METLA (2017). [on-line] <http://www.metla.fi/metinfo/motti/index-en.htm> (11.02.2017).
21. Metsa korraldamise juhend (2017). (vastu võetud 16.01.2009, muudetud, täiendatud, viimati jõustunud, 25.02.2017). -<https://www.riigiteataja.ee/akt/122022017011?leiaKehtiv> (8.03.2017).
22. Metsa korraldamise juhend, lisa 13 (2009). [https://www.riigiteataja.ee/aktilisa/1220/2201/7011/KKM\\_16012009\\_m2\\_Lisa14.pdf#](https://www.riigiteataja.ee/aktilisa/1220/2201/7011/KKM_16012009_m2_Lisa14.pdf#) (11.04.2017).
23. Metsa korraldamise juhend, lisa 14 (2009). [https://www.riigiteataja.ee/aktilisa/1220/2201/7011/KKM\\_16012009\\_m2\\_Lisa14.pdf#](https://www.riigiteataja.ee/aktilisa/1220/2201/7011/KKM_16012009_m2_Lisa14.pdf#) (11.04.2017).
24. Metsa korraldamise juhend, lisa 1 (2014). (vastu võetud 27.12.2006, muudetud, täiendatud, viimati jõustunud, 01.03.2014). [https://www.riigiteataja.ee/aktilisa/1260/2201/4017/KKM\\_27122006\\_m88\\_Lisa1.pdf#](https://www.riigiteataja.ee/aktilisa/1260/2201/4017/KKM_27122006_m88_Lisa1.pdf#) (7.03.2017).
25. Metsakasutuse juhendmaterjalide kogumik. I osa. (1987). /Koost. R.Sein. Tallinn: Eesti NSV Metsamajanduse ja Looduskaitse Ministeerium. 143 lk.
26. Metsaseadus (1993). <https://www.riigiteataja.ee/akt/28595> (7.03.2017).
27. Metsaseadus (1998). <https://www.riigiteataja.ee/akt/33469> (7.03.2017).
28. Metsaseadus (2016). (vastu võetud 07.06.2006, muudetud, täiendatud, viimati jõustunud, 01.03.2016). - Riigi Teataja <https://www.riigiteataja.ee/akt/130122015032?leiaKehtiv> (11.03.2017).

29. **Muys, B., Hynynen, J., Palahí, M., Lexer, M. J., Fabrika, M., Pretzsch, H., Kint, V.** (2010). Simulation tools for decision support to adaptive forest management in Europe. *Forest Systems*, Vol 19. Special Issue, pp, 86–99.
30. **Pretzsch, H., Biber, P., Dursky, J.** (2002). The single tree based stand simulator SILVA: construction, application and evaluation. *Forest Ecology and Management*. Vol. 162, pp. 3–21.
31. **Rötzer, T.** (2015). BALANCE a process based, spatially explicit forest growth model  
[http://waldwachstum.wzw.tum.de/fileadmin/Modelle/BALANCE\\_2015\\_fuer\\_Homepage.pdf](http://waldwachstum.wzw.tum.de/fileadmin/Modelle/BALANCE_2015_fuer_Homepage.pdf). [on-line] (11.03.2017).
32. **Scheller, R. M., Domingo, J. B., Sturtevant, B. R., Williams, J. S., Rudy, A., Gustafson, E. J., Mladenoff, D. J.** (2007). Design, development, and application of LANDIS-II, a spatial landscape simulation model with flexible temporal and spatial resolution. *Ecological Modelling*, Vol. 201(3–4), pp. 409–419.
33. *Silviculture Handbook* (2009). The Department of Natural Resources. [on-line]  
<http://dnr.wi.gov/topic/ForestManagement/documents/24315/24315.pdf>  
(24.02.2017).
34. **Spinelli, R.** (2004). Harvesting of Thinnings. B. Jeffery (Ed), *ENCYCLOPEDIA OF FOREST SCIENCES*. Academic Press, pp 2400.
35. Statistikaamet, Keskkonnaagentuur (2014). [on-line]  
[http://www.keskkonnaagentuur.ee/sites/default/files/raied\\_2014\\_0.pdf](http://www.keskkonnaagentuur.ee/sites/default/files/raied_2014_0.pdf) (7.03.2017).
36. **Sterba, H., Vospernik, S., Söderbergh, I., Ledermann, T.** (2006). Harvesting rules and modules for predicting commercial timber assortments. In H. Hasenauer (Ed.), *Sustainable Forest Management: Growth Models for Europe* Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. pp. 111–129.

**Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Mina, Mihkel Mets,  
(autori nimi)

sünniaeg 10.06.1991,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö

Harvendusraiate normatiivi analüüs,

(lõputöö pealkiri)

mille juhendaja(d) on Ahto Kangur ja Henn Korjus,

(juhendaja(te) nimi)

1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,

1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja

1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor \_\_\_\_\_

(allkiri)

Tartu, \_\_\_\_\_

(kuupäev)

**Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Luban lõputöö kaitsmisele.

\_\_\_\_\_  
(juhendaja nimi ja allkiri) (kuupäev)

\_\_\_\_\_  
(juhendaja nimi ja allkiri) (kuupäev)